

PIV データに基づく非定常段波に作用する底面せん断応力評価の試み

大阪産業大学 学生会員 ○ニコラス・エコ・サブトラ
 大阪産業大学 正 会 員 水谷 夏樹

1. はじめに

陸上遡上する津波の底面せん断応力を評価することは、その挙動を予測する上で極めて重要である。しかし、一般的な数値計算においては、底面せん断応力の評価に Manning 式が適用されており、改善の余地が大きいことが指摘されている。そこで本研究では、鉛直 2 次元 PIV 計測の計測領域を一つのコントロールボリュームとして捉え、上下流端から流出入する運動量の変化と計算領域内の流量の時間変化から、一次元運動方程式を数値的に解き、計算領域の底面全体に作用する平均底面せん断応力を実験値から評価することを試みた。

2. 実験方法の概要

実験は水谷 (2019) が行ったもので、図-1 に示す長さ 3.3m×幅 0.39m の水路に 1/40 のアクリル製勾配 (長さ 2.0m, 高さ 0.05m) を挿入した。勾配の終端に水平床を接続し、側壁から 5cm, 勾配の終端から 0.11~0.19m の範囲で段波内部の PIV 計測を行った。段波は急開ゲートによるダムブレイク流れである。実験条件は貯水槽内の初期貯水位 H を 6, 8, 10 cm の計 3 ケース ($Fr=1.4\sim3.5$) について行った。

3. 一次元運動量方程式の解法

本研究では、以下に示す一次元運動方程式を用い、図-2 に示すような PIV データを用いて解いた。

$$\frac{\partial U h}{\partial t} + \frac{\partial U^2 h}{\partial x} + g h \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\tau_b}{\rho} = 0 \quad (1)$$

ここで、 U は流下方向の平均流速、 h は水位、 g は重力加速度、 τ_b は底面せん断応力である。これを時間項については計算領域全体の平均流量の前進差分、移流項は計算領域の上下流端の境界値を用いた一次風上差分、圧力項は上下流端の境界値を用いた中心差分とした。 $dt=1/15$ s であり、 $dx=80.7$ mm である。

図-3 は、貯水位 $H=10$ cm の場合の摩擦速度 u_* から求められた底面せん断応力および底面から 0.58 mm の位置におけるレイノルズ応力 (水谷(2019)) に、計算領域全体の平均水位 h と式(1)に実験値を代入して求めた底面せん断応力 τ_b および実験値を Manning 式に代入して求めた底面せん断応力 τ_m の時間変化を示したものである。式(1)から、 τ_b は正值の場合に流れを減速させ、負値は流れを加速させるように作用する。段波の先端部を除けば、摩擦速度、レイノルズ応力、Manning 式ともに数 Pa 程度であるが、式(1)から求めた τ_b は、正負のばらつきが大きく数十 Pa の範囲で変動しており、他の評価方法との比較は困難である。そこで、図-4 に式(1)の差分式に代入する各項の時間変化を示す。青線と赤線は、計算領域の上下流端における運動量に相当し、黒線は計算領域全体の平均流量、ピンク線と緑線は、上下流端における全水圧に相当する。青、赤、黒の破線については 3 次多項式で、ピンク線、緑の破線については 4 次の多項式で近似した。流速が含まれる項はばらつきが大きいものの、いずれの項も近似曲線によるフィッティングは良好である。次に、これらの多項式を用いて各項を再評価し、 dt を 0.01 s として式(1)から底面せん断応力 τ_b を再評価した。

図-5 は、式(1)の各項の時間変化である。時間項は、段波の到達直後を最大値として減少していく。一方、移流項は段波の到達時から増大していき、時間項とはほぼ逆位相となり相殺するオーダーである。上下流端の水位差に基づく圧力項は、他の項より小さい。底面せん断応力項は、段波到達時において負値を示しており、流れを加速させるよう作用していることになる。近藤(2011)はせん断応力計を用いて段波に作用する底面せん断応力を直接測定した。ドライベッドではなく、かつ正確な測定ではないとされているが、段波到達時において負のせん断応力の計測例を複数のケースで示している。図-5 では、その後、正の値となり、計算領域全体の平

キーワード 非定常段波, PIV, 底面せん断応力, 一次元運動方程式

連絡先 〒574-8530 大阪府大東市中垣内 3-1-1 mizutani@ce.osaka-sandai.ac.jp

均流量がピークとなる 3.33 s 付近でゼロとなって、その後再び流れを加速させる負の値となる。これらの正負の変化を合理的に説明するメカニズムについては不明である。圧力項は常に負の値であることから、流れを加速させる作用が働いている。しかしながら、上下流端の運動量の差は水位の上昇局面と下降局面で逆転しており、それらのピークは計算領域全体の平均流量のピーク、水位のピークともはずれており、今後、詳細な検討が必要である。底面せん断応力の絶対値は $\pm 2\text{Pa}$ 程度であり、他の評価方法と比べても大差ない。しかし、他の評価法が常に正值であり、かつ減少傾向を示す中で、正負の変化が生じている点は大きな相違点である。

4. まとめ

本研究では、PIV データに基づいて一次元運動量方程式を解き、非定常段波に作用する底面せん断応力の評価を試みた。底面せん断応力は他の評価方法と大きく異なり、流れを加速させる負の値が生じる結果となり、さらに検討が必要である。

参考文献

水谷夏樹(2019), 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.75, No.2, pp.I_7-I_12.
近藤竜生(2011), 東京海洋大学修士論文, p.88.

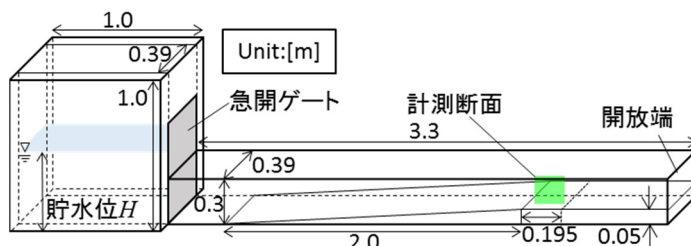


図-1 実験水槽の概要

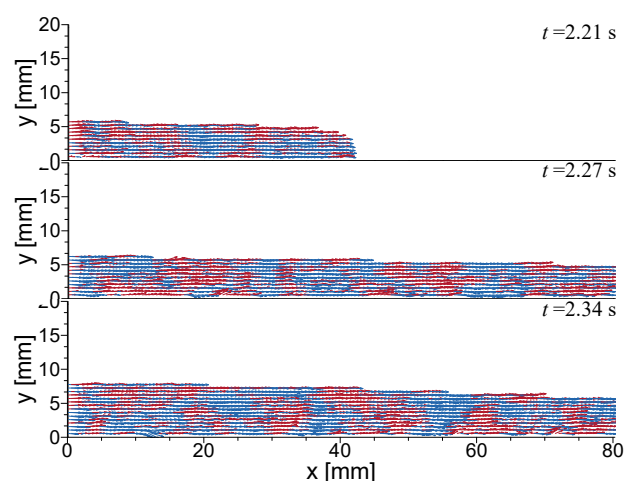


図-2 PIV による流速ベクトル図の例 ($H=10\text{cm}$)

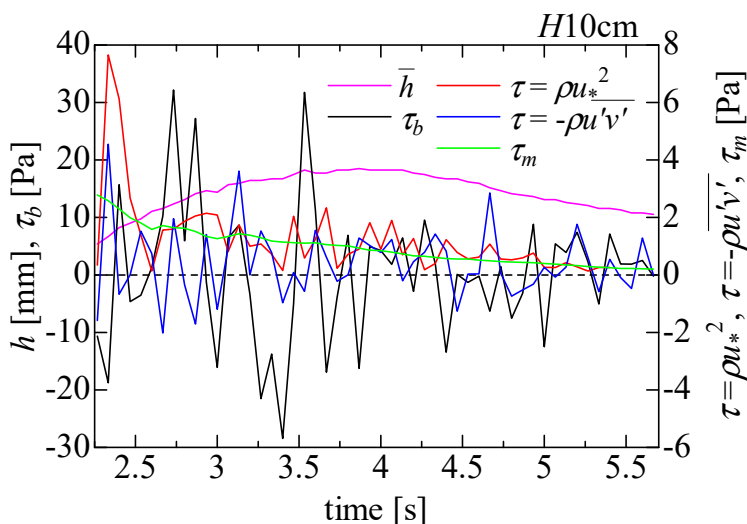


図-3 平均水位と各種評価法に基づく底面せん断応力の時間変化

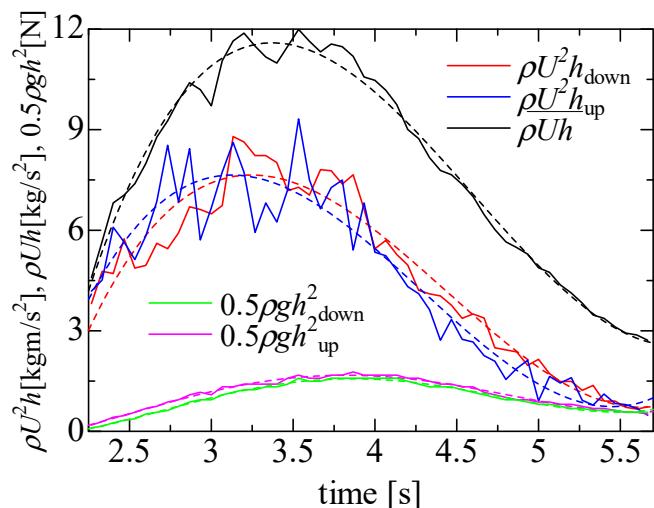


図-4 式(1)の差分式に代入する各項の時間変化

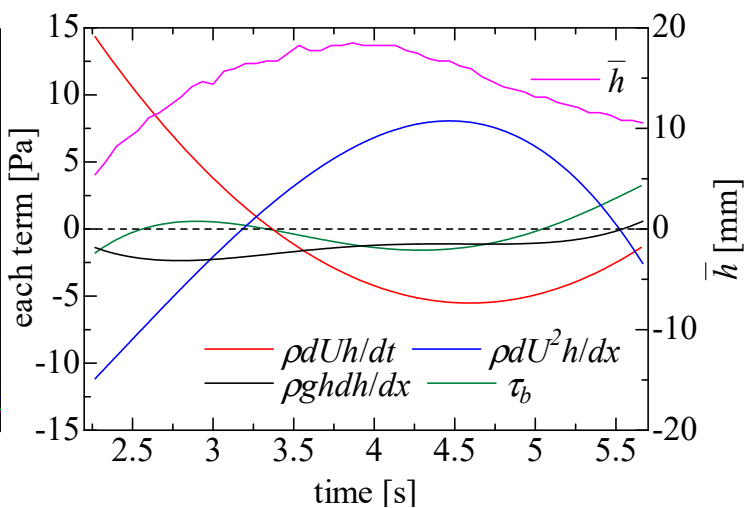


図-5 多項式近似によって再評価した式(1)の各項の時間変化